

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DİZEL MOTORUN NEDC ve WLTC
YÖNTEMLERİNE GÖRE EMİSYON DEĞERLERİNİN
KARŞILAŞTIRILARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah GÖGEBAKAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nedim SÖZBİR

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

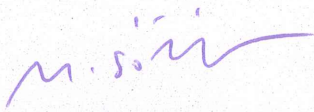
BİR DİZEL MOTORUN NEDC ve WLTC
YÖNTEMLERİNE GÖRE EMİSYON DEĞERLERİNİN
KARŞILAŞTIRILARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

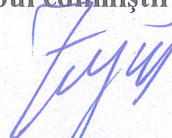
Emrah GÖGEBAKAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

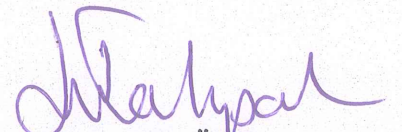
Bu tez 17.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof.Dr.
Nedim SÖZBİR
Jüri Başkanı



Prof.Dr.
M.Zafer Gül
Üye



Dr.Öğr.
Üyesi Ünal Uysal
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Emrah GÖGEBAKAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, herkonuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Nedim SÖZBİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Başkanlığına ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Uzman Araştırmacı Tolgahan KAYA'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
DİZEL MOTOR EMİSYON MEVZUATI VE KULLANILAN EGZOZ SİSTEMLERİ.....	3
2.1. Dizel Motor Emisyon Mevzuatı.....	3
2.2. Emisyon Standartları Tutturmak İçin Gerekli Egzoz Sistemleri.....	4
2.2.1. Dizel partikül filtresi	5
2.2.2. Dizel oksidasyon katalizörleri	5
2.2.3. Yalın NOx tuzağı.....	5
2.2.4. Seçici katalitik indirgeme.....	5
BÖLÜM 3.	
WLTP VE NEDC TEST PROSEDÜRLERİ.....	7

3.1. NEDC Test Prosedürü.....	7
3.1.1. Kentsel sürüş döngüsü.....	9
3.1.2. Şehir dışı sürüş döngüsü	11
3.2. WLTP Test Prosedürü.....	12
3.3. NEDC ve WLTP Test Prosedürlerinin Karşılaştırılması.....	16
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
4.1. Test Aracı.....	20
4.2. Yöntem.....	22
4.3. Deneysel Kurulum.....	22
4.4. Emisyon Ölçüm Cihazı.....	23
4.5. Hesaplamalar.....	28
BÖLÜM 5.	
TEST SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	30
5.1. Toplam CO, HC, ve NOx Emisyonlarının Karşılaştırılması.....	31
5.2. Sürüş Çevriminin Kocaeli İlindeki Emisyonlara Etkisi.....	36
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	41

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	:Avrupa Birliği
ADAC	:Allgemeiner deutscher Auto club
CH ₄	:Methane
CO	:Carbon monoxide
DOC	:Diesel oxidation catalyst
DPF	:Diesel particulate filter
ECE	:Economic Commission for Europe
EEC	:European economic community
EUDC	:Extra-urban Driving Cycle
EGR	:Exhaust gas recirculation
FTP	:Federal test procedure
FL	:Fuelload
ICCT	:Temiz ulaşım uluslararası konseyi
LDV	:Light-dutyvehicles
LNT	:Yalın NO _x tuzağı
MAC	:Mobil klimasistemi
NEDC	:New European Driving Cycle
NO _x	:Oxides of nitrogen
NLC	:Nümerik Logic Control
NMHC	:Non-methane hydrocarbons
OBD	:On-board diagnostics
SCR	:Selective catalytic reduction
PM	:Particle mass
PN	:Particle number
UNECE	:The United Nations Economic Commission for Europe
TA	: Type approval

THC : Total hydrocarbons
WLTP : World Harmonized Light Vehicles Test Procedure
WLTC : World Harmonized Light Vehicles Test Cycle



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. ECE-15 döngüsü.....	10
Şekil 3.2. EUDC döngüsü	10
Şekil 3.3. NEDC sürüş çevrimi	12
Şekil 3.4. WLTP sürüş çevrimi.....	15
Şekil 3.5. WLTP'nin AB' de hedeflenen CO2 değerleri	15
Şekil 4.1. Laboratuvar deney düzeneği.....	22
Şekil 4.2. AVL Ölçüm cihazı.....	25
Şekil 4.3. Motor ve şasi dinamometresi için emisyon ölçüm cihazlarının AVL AMA- i 60 resmi.....	28
Şekil 5.1. Motor yük profile.....	31
Şekil 5.2. DOC ve Egzoz Gazı Sıcaklığındaki NOx, CO ve HC Emisyonlarının Karşılaştırılması.....	32
Şekil 5.3. NEDC ve WLTC'nin CO, HC ve NOx emisyonları (mg/km).....	34
Şekil 5.4. NEDC ve WLTP PN değerleri.....	35
Şekil 5.5. NEDC ve WLTC deneylerinin CO2 emisyonları.....	35

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Dizel binek otomobiller için AB emisyon standartları.....	4
Tablo 3.1. WLTP sürüş rejimi.....	14
Tablo 3.2. NEDC ve WLTP Arasındaki Temel Farklılıklar.....	16
Tablo 4.1. Test aracı ve motoru teknik verileri.....	20
Tablo 4.2. Emisyon cihazının ölçüm aralığı ve analizör tipi AVL-AMAi60.....	27

ÖZET

Anahtar kelimeler: NEDC Test yöntemi, WLTP test yöntemi, NEDC ve WLTP test yöntemlerinin karşılaştırılması

Dünyada kullanılan araçların birçoğu geleneksel içten yanmalı motorlara sahip olup, fosil yakıtlar kullanmaktadırlar. Bu motorlardan zararlı gazlar ihtiva eden egzozemisyenları çevreye yayılarak, çevre kirliliğine neden olmaktadır. Motorlu taşıtların çalışması sonucu oluşan egzoz gazı emisyonları çevreyi kirletmesi sorunu uluslararası düzeyde sorun haline gelmiştir. Bu sorunun çözümü için 90'lı yıllarında başından itibaren binek araçlar için NEDC (New European Driving Cycle/Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü) testi sonuçlarına göre emisyon limitleri uygulanmaya başlanmıştır. Ayrıca emisyon limitleri yıllar içinde sıkılaştırılmıştır. Volkswagen firmasının Amerikada açığa çıkan sürümmanipulasyonu sonrası NEDC çevrimi yerine gerçek hayat koşullarını temsil edebilecek daha gerçekçi bir test prosedürünün elzem olduğu konusu gündeme gelmiştir. Bu sebeple Avrupa Birliği Komisyonu var olan NEDC test prosedürü değerlendirilmesi için komisyon kurmuştur. Komisyon gerçek hayatı daha iyi temsil edecek olan WLTC (World-wide harmonized Light duty Test Cycle/Dünya Genelinde uyumlu Hafif Araç Test Döngüsü) test yöntemini geliştirmiştir. 2018 Eylül'ünden itibaren Avrupa Birliği Ülkelerinde binek araçların emisyon limitleri WLTC test prosedürüne göre değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada NEDC ve WLTC test yöntemleri kıyaslanacaktır, WLTC'nin hangi yönlerden gerçek hayat sürüş koşullarını daha iyi temsil ettiği belirlenecektir. NEDC ve WLTC test prosedürlerinin kıyaslanması kapsamında dizel binek bir araç her iki çevrim testinde karşılaştırılmalı olarak test edilecektir. NEDC ve WLTC test sonuçlarına göre emisyon değerleri ve yakıt tüketimi kıyaslanarak incelenecektir.

AN INVESTIGATION OF COMPARED EMISSION VALUES BY NEDC AND WLTC METHODS OF A DIESEL ENGINE

SUMMARY

Keywords: NEDC test method, WLTP test method, comparison of NEDC and WLTP test methods

Most of the vehicles used in the world have traditional internal combustion engines and use fossil fuels. Exhaust emissions that contain harmful gases from these engines spread to the environment and cause environmental pollution. The problem of polluting the environment is the problem of exhaust gas emissions resulting from the operation of motor vehicles at the international level. In order to solve this problem, emission limits have been applied since the beginning of 90s according to NEDC (New European Driving Cycle) test for passenger cars. In addition, emission limits have been tightened over the years. After the revised version manipulation of Volkswagen in America, the issue of a more realistic test procedure, which would represent real-life conditions, was essential rather than the NEDC cycle. For this reason, the European Commission set up a commission for the evaluation of the existing NEDC test procedure. The Commission has developed the WLTC (World-wide harmonized Light duty Test Cycle) test method which will better represent the real life. As of September 2018, the emission limits of passenger cars in European Union Countries are evaluated according to the WLTC test procedure.

In this study, the NEDC and WLTC test methods will be compared, in which ways WLTC will better represent the real life driving conditions. In the comparison of NEDC and WLTC test procedures, a diesel passenger vehicle will be tested comparatively in both cycle tests. According to NEDC and WLTC test results, the emission values and fuel consumption will be compared.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Küresel olarak dünyada bir milyardan fazla araç bulunmaktadır ve bu araçların birçoğunda geleneksel içten yanmalı motorlar kullanılmaktadır [1]. İçten yanmalı motorlarda kullanılan fosil yakıtlar ihmal edilemeyecek derecede egzoz emisyonlarına neden olmaktadır. Oluşan egzoz emisyonları neticesinde dünya genelinde bir kaygı oluşmuştur ve bu durum araç egzoz emisyon değerlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerini ve kapsamlarının tekrar gözden geçirilmesine sebep olmuştur. Binek araçlardan çıkan egzoz emisyon değerlerini ölçmek için yapılan laboratuvar test prosedürleri “sürüş döngüsü” olarak adlandırılır. Kullanılan araç emisyon ölçüm sistemleri ilk olarak AB’de 1960 ve 1970’li yıllarda uygulanmaya konulmuştur [2]. İlk zamanlarda laboratuvar koşullarında araç testi için Avrupa Sürüş Çevriminin ilk versiyonu geliştirildi [2]. Bu test döngüsü sadece şehir içi sürüşü ve 50 km/h lik azami bir hızı içeriyordu. 1990’lı yıllarda AB Test döngüsünü 11 saniyede şehir dışı trafikte maksimum 120 km/h hıza ulaşacak şekilde düzenledi. Testin adı bu düzenlemeden sonra Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC; New European Driving Cycle) olarak değiştirilmiştir. Bu yıllarda, AB otomobil üreticileri yeni üretilen otomobillerin CO₂ değerlerini düzenlenmesi için gönüllü bir şekilde bir araya gelmiştir. Belirlenen sınırlar dışında sürüm değerlerinin cezai yaptırımının olması sonucunda CO₂ sürüm değerleri daha da önem kazanmıştır. Avrupa Komisyonu çalışmalarında, Dünya çapında uyumlaştırılmış Hafif Hizmet Test Döngüsü (WLTC) ve Dünya çapında uyumlaştırılmış Hafif Hizmet Test Prosedürü’nün (WLTP) geliştirilmesine öncülük ederek ve zemin hazırlayarak bu açık sorunları ele almaktadır. WLTC'nin geliştirilmesi, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) Araç Düzenlemelerinin Uyumlaştırılması Forumu, Kirlilik ve Enerji Taşımacılığı Programına İlişkin Çalışma Grubu (UNECE) tarafından başlatılan bir program kapsamında yürütülmüştür. Bu projenin amacı,

dünya çapında gerçekçi sürüş özelliklerini karakterize eden ve 2017'den itibaren uygulamaya konan yasal bir dünya çapında uyumlu TA prosedürüne sahip olmak için ortalama sürüş özelliklerini temsil eden uyumlaştırılmış bir hafif görev test döngüsü geliştirmektir [3], [4].

2017'de yeni geliştirilen WLTP test prosedürü, resmi AB tip onay emisyon değerlerinin belirlenmesinde etkili olacak mevcut kapsama göre farklılık göstermektedir. Bunun ayrıca NEDC tabanlı CO₂ binek otomobillerinin 2020-2021 yılı emisyon hedefi (95 g CO₂ / km) ve bunun da yeni test prosedürüne adapte edilmesi gerekmektedir. Makalede, ana etkileyici parametre tanımları ve etkileri belirlenmektedir [5].

Alman yakıt tüketimi veritabanıspritmonitorde'nin 28.000'den fazla kullanıcı girişiyle ve Avrupa'nın en büyük otomobil kulübü ADAC tarafından test edilen 1.200'den fazla araç modelinin analizlerine dayanarak, ICCT tip onayı ile “gerçek dünya” yakıt tüketimi arasındaki farkı test etmiştir. CO₂ değerleri, 2001'de yaklaşık % 8 iken günümüzde % 21'e yükseldiği tespit edilmiştir ve 2007'den bu yana özellikle güçlü bir artış tespit edilmiştir [6], [7], [8].

BÖLÜM 2. DİZEL MOTOR EMİSYON MEVZUATI VE KULLANILAN EGZOZ SİSTEMLERİ

2.1. Dizel Motor Emisyonu Mevzuatı

Binek araçlar, hafif ticari araçlar ve yeni hafif hizmet araçları için Avrupa Birliği emisyon yönetmelikleri 2004'te kabul edilen bir dizi değişiklikle 70/220 / EEC Direktifinde belirtilmiştir. (5/6 Euro). Hafif iş araçları için emisyon standardında uygulanan önemli düzenleyici adımlardan bazıları şunlardır:

- Euro 1 standartları (EC 93 olarak da bilinir): 91/441 / EEC (yalnızca binek otomobiller) veya 93/59 / EEC sayılı Direktifler (binek ve hafif kamyonlar)
- Euro 2 standartları (EC 96): 94/12 / EC veya 96/69 / EC sayılı Direktifler
- Euro 3/4 standartları (2000/2005): 98/69 / EC sayılı Direktif, 2002/80 / EC'deki değişiklikler
- Euro 5/6 standartları (2009/2014): 715/2007 sayılı Düzenleme (siyasi mevzuat)

Tablo 2.1.'de 1992'den bu yana Avrupa'da dizel otomobil emisyonu standartlarının değişimleri listelenmiştir. Hem NO_x hem de PM değerleri izin verilen emisyon değerlerini yakalayabilmek için mevzuatın değişimlerinde azaltılmıştır. Mevcut Euro V standardı için, dizel motor PM emisyonları oranla % 80'lik bir azalma gözlemlenmektedir ve NO_x emisyonları ise Euro IV standardına oranla % 30'luk bir düşüştür.

Tablo 2.1. Dizel Binek Otomobilleri İçin AB Emisyon Standartları (g / km)

AşamaGiriş tarihi	CO	HC+NOx	NOx	PM	PN
Euro I 1992	2.72	0.97	-	0.14	-
Euro II 1996	1	0.9	-	0.10	-
Euro III 2000	0.64	0.56	0.5	0.05	-
Euro IV 2005	0.5	0.3	0.25	0.025	-
Euro V 2009	0.5	0.23	0.18	0.005	-
Euro VI 2014	0.5	0.17	0.08	0.005	6*10 ⁻¹¹

Parçacık sayısı her geçen gün daha fazla düşünülmesi gereken bir hal almaktadır. Düşük PM kütleli emisyon değerlerine sahip araçlardan dahi çok sayıda insan sağlığına zararlı partikül salınmaktadır [6].

2.2. Emisyon Standartlarının Sağlanabilmesi İçin Gerekli Egzoz Sistemleri

Dizel motor üreticileri, silindir içi yanmanın tamamen kontrol edilememesinden dolayı, motorlarının yeni emisyon düzenlemelerine göre standartları sağlamayacağını bilmektedirler. Bundan dolayı, kirletici maddeleri egzoz gazıyla dışarıya atmadan önce son işleme ekipmanı kullanmak gerekli hale gelmiştir. Aşağıdaki başıklarda belirtilen teknikler ile PM, NOx, THC ve CO emisyon değerleri düşürülmeye çalışılmıştır.

2.2.1. Dizel partikül filtresi (DPF)

DPF egzoz gazından çıkan PM'nin karbonlu bileşenini temizlemek için kullanılmaktadır. Motordan dışarı atılan yanmış yakıt hava karışımı içinde bulunan zararlı parçacıklar partikül fitresi içinde birikerek doğaya salınımları engellenmiş

olmaktadır. Biriken partiküller egzoz gaz sıcaklığının arttırılması ile yakılarak zararları önlenmektedir.

2.2.2. Dizel oksidasyon katalizörleri (DOC)

Egzoz akışlarında, THC ve CO emisyonları bir DOC yoluyla katalizlioksidasyonlarla giderilebilir. Katalizör yatağında, emisyonlar egzozdaki oksijenle reaksiyona girerek CO₂ ve su üretir. Daha spesifik olarak, normal bir DOC, PM'yi % 30'a kadar, hidrokarbon bazlı çözülebilir organik fraksiyonu (SOF) yaklaşık % 70 ve THC ve CO'yu basit oksidasyonla % 80'den fazla dizel egzoz içeriğinde azaltabilir. Bununla birlikte, THC ve CO'nun dönüştürülmesi sırasında, bir yan ürün olarak NO₂ oluşur. Ayrıca DOC, DPF'ye girmeden önce egzoz akımının “doğru” bileşim ve sıcaklığa sahip olması için hazırlanmasında önemli bir araçtır. Örneğin, DOC'de oluşturulan NO₂, DPF'de sıkışan kurumla reaksiyona girebilir ve NO ve CO₂ üretir. Bu nedenle çoğu DPF bir DOC ile birlikte üretilir ve kullanılır.

2.2.3. Yalın NO_x tuzağı (LNT)

Yanma odasında gerçekleşen yanma olayının ardından meydana gelen azot oksitler egzozda tutulurlar. Bu sistemdeki azot oksitler belirlenmiş kimyasal maddeler ile tutulurlar. LNT nin kapasitesi sınırlı bir değerdeki azot oksitleri hapsedebilir. Belli olan bu limitler dolduğunda, LNT sisteminde tarafından hapsedilen fazladan yakıt ve azot oksitler, karbondioksit, su, azota çevirilerek dışarı atılırlar. NO_x'i N₂, CO₂ ve suya dönüştürmek için indirgeyici olarak CO ve THC kullanır. % 70-80'e kadar NO_x verimine sahiptir.

2.2.4. Seçici katalitik indirgeme (SCR)

SCR sistemleri, NO_x'i egzoz akımında moleküler azot ve oksijene dönüştürmek için yıkama kaplı veya homojen bir ekstrüde katalizör ve kimyasal bir reaktif kullanır. Mobil kaynak uygulamalarında, sulu bir üre çözeltisi genellikle tercih edilen indirgeyicidir. SCR sistemi NO_x emisyonlarını % 75 ile % 90 oranında azaltabilir,

Egzoz gazındaki NO_x konsantrasyonunun tahmini, NO_x'i azaltmak için yeterli NH₃ olmasını sağlamak için yeterli üre enjeksiyonunun kontrolü ve katalizör içindeki homojen dağılım SCR teknolojisinin uygulanmasının önündeki en büyük zorluklardan biridir.



BÖLÜM 3. NEDC VE WLTP TEST PROSEDÜRLERİ

Ülkelerin araç emisyonlarını kontrol etmek için kullandıkları farklı çevrimler bulunmaktadır. Tüm bu çevrimlerin amacı gerçek sürüş rejimindeki emisyon değerleri ve yakıt tüketimi değerlerinin deneysel olarak en yakın doğrulukta bulunabilmesidir. Dünya genelinde kullanılan bazı çevrimler aşağıdaki gibidir.

- ECE R-49; Ağır ticari taşıtlar için uygulanan bir çevrimdir.
- ESC; Ağır ticari taşıtlar için uygulanan bir çevrimdir.
- Avrupa değişken çevrimi (ETC); Ağır ticari taşıtlar için uygulanan bir çevrimdir.
- FTP-75; Çevrimi Amerika da hafif ticari taşıtlar için uygulanan bir çevrimdir.
- Japonya mode sürüş çevrimi; Hafif ticari taşıtlara uygulanan bir çevrimdir.
- NEDC(Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi); Hafif ticari taşıtlar için uygulanan bir çevrimdir.
- World Harmonized Transient Cycle (WHTC); Ağır ticari taşıtlar için uygulanan ve tavsiye edilen uluslararası bir sürüş çevrimidir.
- WLTC; Dünya geneli uyumlu hafif araç test çevrimi

Bu tez çalışmasında Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan NEDC ve WLTC test çevrimleri laboratuvar ortamında uygulanarak, sonuçları karşılaştırılmıştır.

3.1. NEDC Test Prosedürü

Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (NEDC), 1980'lerde tasarlanan ve 1990'da kabul edilen ve son olarak 1997'de güncellenen, binek otomobillerde (hafif kamyonlar ve ticari araçlar hariç) araç yakıt tüketim değerleri ve yakıt emisyon seviyelerini değerlendirmek üzere tasarlanmış bir sürüş döngüsüdür [10]. NEDC'nin en büyük

kusurları teorik sürüş koşulları ve onun öne sürdüğü gerçekçi olmayan değerlere olan eğilimidir. NEDC yakıt tüketim değerleri, gerçek hayattaki trafikte olan değerlerden uzak olduğundan dolayı çoğu zaman eleştirilere maruz kalmaktadır.

Orijinal olarak benzinli karayolu taşıtları için tasarlanmış olmasına rağmen, sürüş döngüsü artık dizel araçlar, elektrikli araçlar için elektrik enerjisi tüketimini, hibrit ve akülü elektrikli araçların sürüş aralığını tahmin etmek için de kullanılmaktadır. Döngü boyunca genellikle birkaç ölçüm yapılır. Bunlar;

- Şehir içi yakıt tüketimi (başlangıç 780 s)
- Şehir dışı yakıt tüketimi (780 - 1180 s)
- Tüm sürüş boyunca yakıt tüketimi
- CO₂ emisyonu dır.

Avrupada uygulanan emisyon değerlerine uygunluğunu değerlendirmek için aşağıdaki parametreler ölçülmektedir.

- Partikül madde
- Yanmamış hidrokarbonlar
- Azot oksitler
- Karbonmonoksit

Test uygulanan bölgenin ihtiyaçlarına göre aşağıda belirtilen parametrelerden bazıları ölçülmektedir:

- Azot oksit miktarı (NO_x)
- Parçacık sayısı (PN)
- Hidrokarbon miktarı ve azot oksit (THC + NO_x)
- CO miktarı
- THC miktarı
- Metan hariç diğer hidrokarbonların kütlesi (NMHC)
- Parçacıklı madde miktarı (PM)

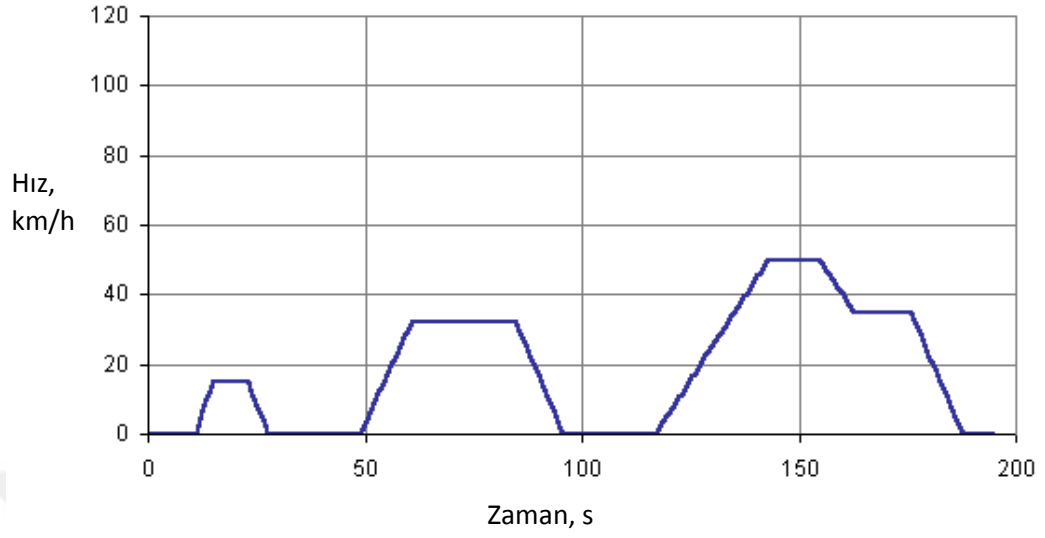
Döngüler, düz bir yolda, rüzgârsız bir şekilde, 20-30 ° C'de soğuk bir araçta yapılmaktadır. Tekrardan test yapılabilmesi için tüm bu aşamalar test ortamlarında yapılmaktadır. Ortamlar, aerodinamik sürtünme ve araç kütlesi (atalet) nedeniyle benzer direnç uygulayan elektrikli tamburlardan oluşmaktadır. Önceden belirli her araç için özelliklerini ve araç standartlarını bir tablo vasıtasıyla sisteme entegre edebiliriz. Hız değerleri belirli bir direnç değerine denktir. (araç tekerleklerinin hareketine karşı ters tork). Bu düzenleme, sadece arama tablosunu değiştirerek tüm araç tiplerini (Sedan, hatchback, MPV vb.) test etmek için bir aracın test için kullanılmasını imkân verir. Araç hava girişlerinin mevcut hızla eşleşen bir hava akımı sağlaması için bir merdane tezgâhına montajlanır. Bu işlemler sayesinde araç geliştirme çalışmaları boyunca geleneksel yol testlerine göre daha fazla test yapılabilmemize imkan sağlamaktadır.

Test gerçekleştirilirken araç için yük olabilecek tüm aksesuarlar kapatılır. (Araç kliması, tüm lambalar, ısıtılmalı sistemleri, vb.)

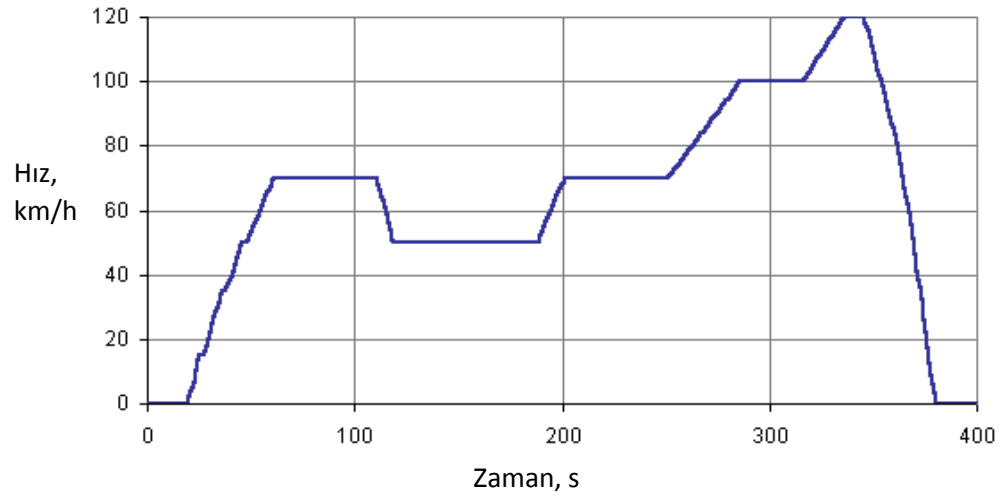
NEDC sürüş çevrimi iki ana kısımdan oluşmaktadır: 4 kez tekrarlanan ECE-15 (şehir içi sürüş), 0 s'den 780 s'ye kadar devam eder ve EUDC döngüsü 780 s - 1180 s' aralığında devam eder.

3.1.1. Kentsel sürüş döngüsü

Kentsel Sürüş Döngüsü ECE-15, 1970 yılında ECE araç düzenlemelerinin bir parçası olarak ortaya çıktı; son sürüm ECE R83, R84 ve R101 yönetmelikleritarafından belirtilmiştir. Bu döngüde egzoz gazı sıcaklığı ve motor yükü düşük, maksimum 50 / s hız ile karakterize edilerek yoğun Avrupa şehirlerinin mevcut sürüş değerlerini temsil etmektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.1.ECE-15 Döngüsü [11]



Şekil 3.2. EUDC Döngüsü [11]

Kentsel sürüş döngüsü; motor çalıştığında, araç 11 saniye duraklar - manuel bir şanzımanla donatılmışsa, 6 saniye boşa (debriyaj takılı iken) ve 1. viteste 5 saniye (debriyaj açıkken) - sonra yavaş yavaş 15 km / sa 4 s, 8 s boyunca sabit hızda hareket eder, 5 s'de tam durur (manuel: debriyaj kapalıyken son 3 s), sonra 21 s'de durur (manuel: boşa 16 s, sonra 1. viteste 5 s).

Otomobil, 49 s'de, 12 s'de yavaşça 32 km / sa hıza ulaşıyor (manuel: 1 viteste 5 s, 2 v vites değişimi, sonra 2 viteste 5 s), 24 s'de gidiyor, yavaş yavaş tam fren yapmak için 11 s (manuel: son 3 s, debriyajı açık), sonra başka bir 21 s duraklar (manuel: 16 s boşta, 1 viteste 5 s).

117 s'de, araba 26 s'de (manuel: 5 s, 9 s ve 8 s, 1., 2. ve 3. viteste, vites değişimi için ilave 2×2 s), yavaş yavaş 50 km / s hıza ulaşıyor 12 s, 8 s'de 35 km / s'ye yavaşlar, başka bir 13 s'de hamle yapar, 12 s'de tamamen durur. (manuel: 2 s, 2. vitese değiştirir, 2. viteste 7 s, debriyaj serbest bırakıldığında 3 s), sonra 7 saniye duraklar (manuel: debriyaj bağlıken boşta).

Döngü, 1954'te, 994,03 metre teorik mesafeden sonra bitmekteydi, ardından arka arkaya dört kez tekrar edilmekteydi. Toplam süre, ortalama 18.35 km / s hıza sahip olan 3976,1 metre teorik mesafeden 780 s'di. (13 dakika).

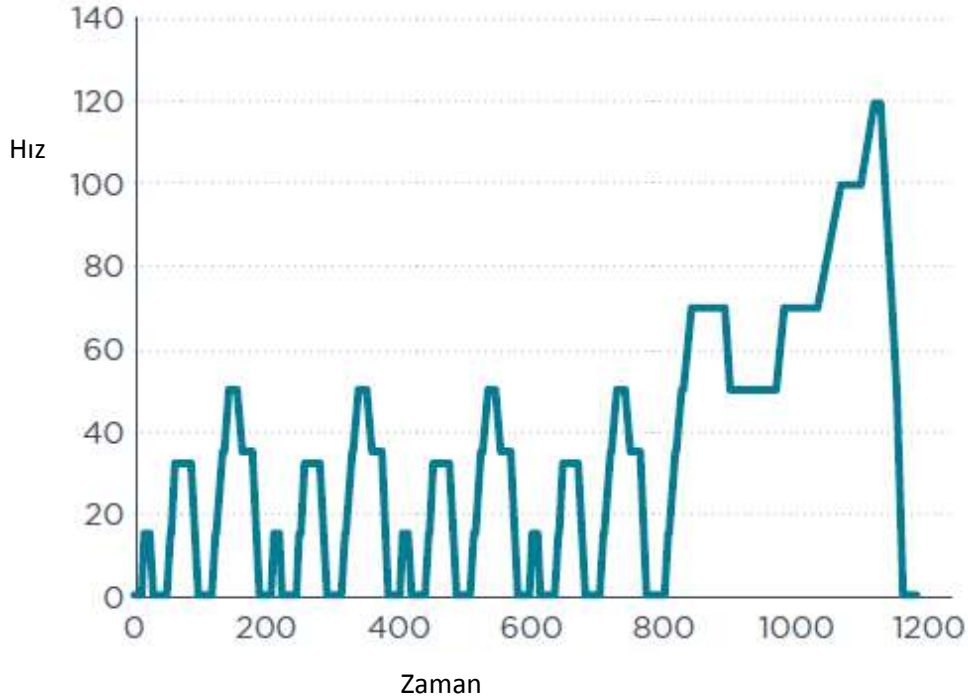
3.1.2. Şehir dışı sürüş döngüsü

1990 yılında daha hızlı fakat daha uzun yollar düşünülerek şehir dışı tüketim değeri tasarlandı ve pratik olarak uygulanmaya başlandı. Şehir dışı sürüş döngüsü bir önceki adımda gerçekleştirilen şehir içi sürüş döngüsünün devamı sayılabilir. Araç önceki döngüden sonra 2. Döngüye başladığından sürüş sıcak motor ile gerçekleştirilir. Kısaca özetlersek araç başta şehir içi testiyle ilk teste başlattığımızı ve ardından motor ısındıktan sonra daha hızlı bir şekilde başka bir yola girerek test devam etmektedir. Bu testte üst ve alt hız limitleri uygulanmaktadır. Araç düşük güçlü ise 90 km/saat, yüksek güçlü ise 120 km/saat hız limiti uygulanır (Şekil 3.2.).

Şehir dışı araç test adımları; 20 s durduktan sonra - manuel şanzımana sahipse, debriyajı açık olan birinci viteste - araba 41 s'de yavaşça 70 km / s'ye çıkar (manuel: 5 s, 9 s, 8 s ve 1 s'de 13 s, 2., 3. ve 4. vitesler, vites değişimi için ilave 3×2 sn.), 50 sn. (Manuel: 5. viteste [sic]), 8 saniyede 50 km / s'ye düşer (manuel: 4 sn. 4. viteste 5. ve 4. s [sic]) ve 69 s için hareket eder, daha sonra yavaş yavaş 13 s'de 70 km / saate çıkar. 201 s'de, araç 50 saniye boyunca 70 km / s hızla hareket eder (manuel: 5.

viteste), daha sonra 35 saniyede yavaş yavaş 100 km / s hıza çıkarır ve 30 sn boyunca yavaş ilerler (manuel: 5. veya 6. viteste) . Sonunda, 316 s'de araba 20 s'de yavaş yavaş 120 km / s'ye ulaşır, 10 s'de ilerler, sonra yavaş yavaş 34 s'de tam durur (manuel: 5. veya 6. viteste, son 10 s debriyajı serbest bırakır) ve 20 saniye daha boşta (manuel: boşta). Toplam süre 400 saniyedir (6 dakika 40 saniye) ve teorik mesafe ortalama 69,6 km / s'dir.

Toplam yakıt ekonomisi, toplam mesafedeki kentsel ve kentsel olmayan döngülerin tüketimi ile hesaplanır (teorik 10932 metre). Toplam test süresi, ortalama 33.35 km / s hızında 1180 s'dir.



Şekil 3.3. NEDC Sürüş Çevrimi [12]

3.2. WLTP Test Prosedürü

Yeni WLTP prosedürü (World wide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure/ Dünya Çapında Uyumlu Hafif Taşıtlar Test Prosedürü) dünya çapında toplanan sürüş verileri temel alınarak geliştirilmiş olup, şehir içi trafikten otoyol sürüşüne kadar

sürüş durumlarını kapsar. WLTP test prosedürü dinamikdir, çünkü diğer test prosedürlerine göre daha fazla hızlanmaya ve frenlemeye sahiptir. Ayrıca ağırlık, aerodinamik unsurlar ve elektrik sistemi tüketimi (çalışma akımı) üzerinde özel donanımın etkileri de WLTP'de hesaba katılır.

Günümüzde ihtiyaçları doğrultusunda motor hacimleri her geçen gün daha fazla küçülürken aynı doğrultuda emisyon ve yakıt tüketim değerleride düşüş göstermektedir. Örnek olarak 1.4lt turbo-benzin motora sahip bir aracın ortalama olarak 100km mesafede 5lt-5.5lt benzin tükettiği birçok farklı modelin teknik verilerinde açık bir şekilde belirtiliyor [5]. Fakat pratik değerler göz önüne alındığında bu değerler %30-%40 hatta daha yüksek tüketim değerleri gerçekleşebiliyor [5]. Bu durum bütün dünyada sorun haline geldive bundan dolayı 1970'li yıllardan bu günlere kadar kullanılmakta olan NEDC test yöntemi yerini gerçek sürüş koşullarına daha yakın bir yöntem olan WLTP test yöntemine bırakmaktadır. 2018 Eylül ayından itibaren bütün otomobil üreticileri NEDC (New European Driving Cycle) yerine WLTP (World wide harmonized Light vehicles Test Procedure) yöntemine geçiş yapmıştır [6], [7].

Test edilecek araçlar 3 farklı sınıfta Güç/Ağırlık oranına göre sınıflandırılıyorlar. Güç KW olarak, ağırlık ise Ton olarak alınmaktadır [8].

- Class 1 – Güç/Ağırlık oranı 22'den küçük modeller
- Class 2 – Güç/Ağırlık oranı 22'den büyük 34'den küçük modeller
- Class 3 – Güç/Ağırlık oranı 34'den büyük modeller

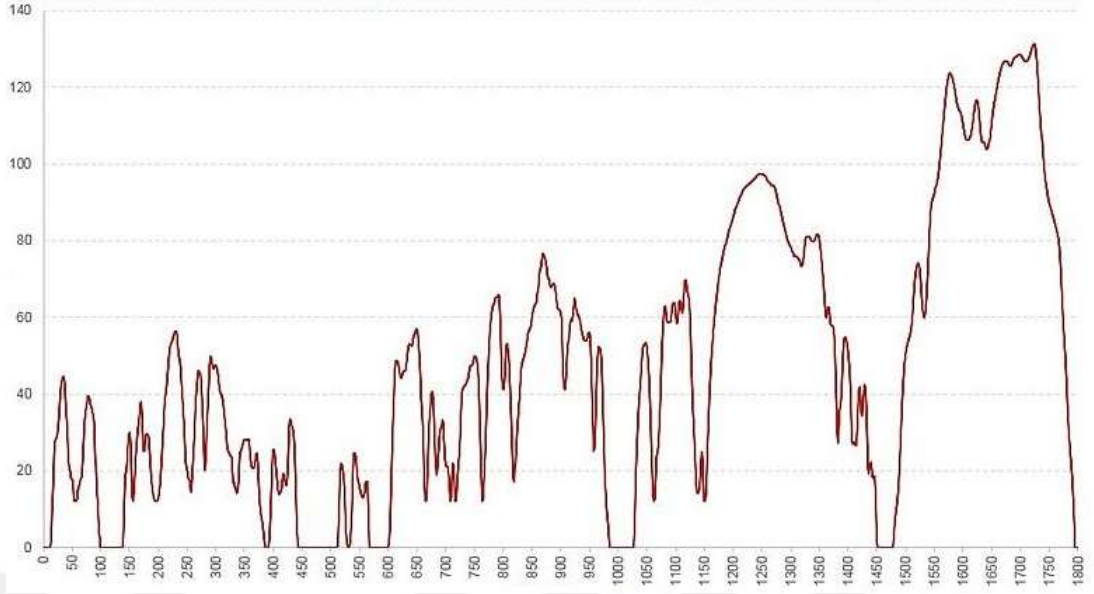
Bu doğrultuda Class 1 ve 2 genellikle otobüs, kamyon gibi çok ağır taşıtların girdiği bir sınıfken, Class 3 otomobil ve hafif ticari araçları kapsıyor denilebilir. Ancak bizi esas Class 3 olarak adlandırılan sınıf ilgilendirmektedir. Bu prosedürde 4 farklı hız kullanılarak ve toplamda 23km mesafe katedilmektedir. 30 dakika süren testin 4 dakikası ve 3km'si ise duraklamalar ile geçiyor. Aşağıdaki tabloda belirtilen WLTP sürüş rejiminin nasıl gerçekleştiği görülebilir (Tablo 3.1). Bu tablonun pratik sürüşte

elde edilen hız süre grafik versiyonu da bize oldukça fazla bilgi vermektedir (Şekil 3.4).

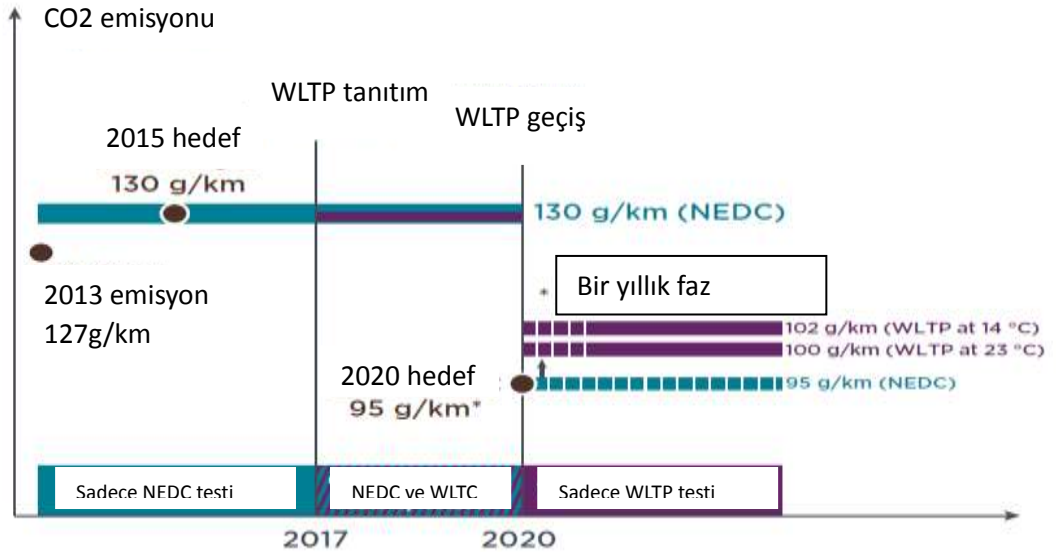
Tablo 3.1. WLTP Sürüş Rejimi [9].

Hız	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek	Toplam
Toplam sürüş mesafesi	589	433	455	323	1800 sn
Durma süresi	150	49	31	8	235 sn
Mesafe(metre)	3095	4756	7162	8254	23266 m
Durma oranı	26,5	11,1	6,8	2,2	13,4
Maksimum hız(km/sa)	56,5	76,6	97,4	131,3	
Durmalar hariç ortalama hız(km/sa)	25,3	44,5	60,7	94	53,5
Durmalar dâhil ortalama hız(km/sa)	18,9	39,4	56,5	91,7	46,5
En düşük hızlanma(m/s ²)	-1,5	-1,5	-1,5	-1,44	
En yüksek hızlanma(m/s ²)	1,611	1,611	1,666	1,055	

Şekil 3.4.'de verilen Hız-Süre grafiğinde döngünün hangi hız ve zamanlarda devam ettiğigörülebilir. Test sürüşü araç soğukken başlamaktadır, ilk 10 dk yavaş ve şehir içi sürüş gibi fazla dur kalkların olduğu şekilde devam eder. Sonrasında hız artmakta ve sonlarda hız 135 km/saate kadar çıkmaktadır.



Şekil 3.4. WLTP Sürüş Çevrimi [9]



Şekil 3.5. WLTP' nin AB' de Hedeflenen CO2 Değerleri [2]

WLTP test döngüsünün çalışmaları dünya genelinde araç sayısının her geçen gün artmasından dolayı hızlı bir şekilde devam etmektedir. AB tarafından hedeflenen CO2 değerleri ve zaman çizelgesi Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.

3.3. NEDC ve WLTP Test Prosedürlerinin Karşılaştırılması

Kullanılmakta olan araç testleri WLTP, NEDC ve diğer dünya ülkelerinin kullanımında olan sürüş döngüleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu döngülerden ilk olarak kullanılmaya başlanılan NEDC sürüş döngüsü zamanla yetersiz kalmıştır. NEDC tasarlandığı dönemde, araçlar hafif ve güç değerleri düşüktü. Testin bize sunduğu modeldesabit hız ve düşük ivmelenme ve farklı rölanti ile sürüşler temsil edilmekteydi. Bunun tam tersi olarak pratikte ivmelenmeler ve hızlanmalar değişkendir. Modern motor güçlerinin artmasının bir sonucu olarak, 1981’de 0-100 km / sa hızlanma için gerekli olan ortalama süre 14 saniye iken 2007’de 9 saniyeye kadar düşmüştür [9]. Bu vb. farklılıklar sonucunda yapılan araştırmalar neticesinde WLTP test prosedürü ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki tabloda belirtildiği üzere iki testin arasındaki farklar açıkça görülmektedir. Yeni uygulanacak WLTP testinde; hızlanmalar daha keskin, artan ve azalan bir şekilde gerçekleşmektedir.

Tablo 3.2. NEDC ve WLTP Arasındaki Temel Farklılıklar [9]

Kategori	Faktör	NEDC	WLTP
Yol yükü tanımlanması	Araç test kütlesi	Mevcut	Düzenlenmiş
	Lastik seçimi	Mevcut	Düzenlenmiş
	Lastik basıncı	Mevcut	Düzenlenmiş
	Lastik sırt derinliği	Mevcut	Düzenlenmiş
	Direnç kuvvetlerinin hesaplanması	Mevcut	Düzenlenmiş
	Dönen parçaların ataleti	Yok	Tanımlanmış
Laboratuvar testi	Sürü	Tablo 3.1.(Devamı)	Düzenlenmiş

Tablo 3.2.(Devamı)

	Test sıcaklığı	Mevcut	Düzenlenmiş
	Araç ataleti	Mevcut	Düzenlenmiş
	Önkoşul	Mevcut	Düzenlenmiş
	Vites değiştirme stratejisi	Mevcut	Düzenlenmiş
İşlem sonrası test sonuçları	Batarya sarj durumu	Yok	Tanımlanmış
	düzeltilmesi yoktur.		
	Hız ve mesafenin	Yok	Tanımlanacak
	düzeltilmesi		
Beyan edilen değer	CO2 emisyon beyanı	Mevcut	Düzenlenmiş

İki test protokolü arasındaki temel farklar dört kategoride gruplandırılabilir (genel bakış Tablo 3.1.'de verilmiştir) :

- Test hattından yol yükü tespiti
- Labaratuvar testi
- Test sonuçlarının işlenmesi
- CO2 sonuçlarının beyanı

WLTC'nin geliştirilmesi, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) Araç Düzenlemelerinin Uyumlaştırılması Forumu tarafından, Kirlilik ve Enerji Taşımacılığı Programına İlişkin Çalışma Grubu tarafından başlatılan bir program kapsamında yürütülmüştür [12]. Bu projenin amacı, dünyadaki ortalama sürüş özelliklerini temsil eden uyumlaştırılmış bir hafif hizmet test döngüsü geliştirmek ve 2017'den itibaren uygulamaya konan yasal bir düzenleme ile dünya çapında uyumlu TA prosedürüne sahip olmaktır.

Yeni sürüş döngüsünün geliştirilmesi için ilk planlamalar 2009'da yılında yapılmıştır [12].

Üç aşamadan oluşuyordu:

- Faz 1 (2009-2014): Dünya çapında uyumlaştırılmış hafif hizmet sürüş çevriminin geliştirilmesi ve kriter bileşiklerinin, CO₂, yakıt ve enerji tüketiminin ortak ölçümü için ilgili test prosedürünün geliştirilmesi (AB tipi onay prosedürünün Tip 1 testi).
- Faz 2 (2014-2018): düşük sıcaklık / yüksek irtifa test prosedürü, dayanıklılık, in-1 servis uygunluğu, dâhili teşhis (OBD), mobil klima (MAC) sistemi enerji verimliliği, kapalı Bisiklet / gerçek sürüş emisyonları.
- Faz 3 (2018+): emisyon limit değerleri ve OBD eşik limitleri, referans yakıtların tanımı, bölgesel gerekliliklerle karşılaştırılması.

WLTP' ninbaşladığı günden bu zamana kadar, Avrupa Birliği (AB), gerçeğe daha yakın bir test tasarlamak ve bu testi uygulamak için kendi mevzuatına (AB Yönetmeliği 443/2009 ve Yönetmeliğe (AB) 510/2011) dayanan kuvvetli bir politik hedefe sahipti. WLTP'nin zaman dilimi ve özellikle 1. Aşamayı ayarlamak için büyük bir politik itici faktör olan 2014 yılına kadar olan döngü, aslında WLTP gelişiminin 1. Aşamasıdır. Bu amaç doğrultusunda iki adet farklı hedefte çalışma grubu oluşturulmuştur. Uyumlu bir hale gelen döngünün geliştirilmesi ve Dünya Çapında yeni bir Hafif Hizmet Test Döngüsü oluşturulmasıdır.

Test prosedürlerinin sürüş döngüsü ve testinin teknik olarak düzenlenmesi neticesinde UNECE tarafından Nisan 2014'de kabul edilmesine olanak sağlamıştır.

Ortaya çıkan WLTP test prosedüründüyadaki LDV'lerin belgelendirilmesi için uygulanacak ve üç temel ihtiyaca cevap verecektir:

- Araç emisyonlarının, uygulanabilir emisyon limitlerine uygunluğunu kontrol etmek;
- Numune araç yakıt tüketim değerlerive CO₂ değerlerini belirlemek,

- Gerçek dünyada oluşan emisyon değerleri ile Tip onay emisyon değerleri arasındaki farklılıkları azaltmak.

WLTP projesi başladığında, dünyadaki gerçek sürüş koşullarında yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını temsil edebilecek yeni bir sürüş döngüsü tasarlamak amaçlandı. Bundan dolayı, projenin temel amaçlarından biri, WLTC'yi gerçek sürüş koşullarına dayanarak oluşturmaktır.

WLTC'nin son versiyonu tek bir döngü değil, farklı özelliklere sahip taşıtlarla kullanılacak farklı döngülerden oluşan birden fazla döngüyü içermektedir.

NEDC ile karşılaştıracak olursak WLTC sınıf 3 daha dinamik bir sürüş çevrimini içermektedir. Daha geniş motor koşulları yelpazesini kapsar ve gerçek sürüşü daha iyi temsil eder. Maksimum hıza ve ortalamaya sahip olan NEDC'ye göre daha yüksek hızlara (sırasıyla maksimum hız ve duraklarla ortalama hız 131,3 km / s ve 46,5 km / s'dir), daha dik hızlanmalara ve yavaşlamalara ve daha az rölanti zamanına (% 13,44) sahiptir [14].

Tablo 4.1.'de listelenen prosedürlerin çoğu NEDC'de zaten mevcuttu. Bununla birlikte, birçok faktörde izin verilen yüksek toleranslar ve bazı tanınmış teknik hatalar nedeniyle, her araç üreticisi ve tip onay yetkilisi “standart NEDC test koşulları” yorumunu yapma olanağına sahipti. Sıkı CO2 standartlarının baskısı altında, bu toleranslar çoğu durumda düşük CO2 emisyonu sağlayan ve dolayısıyla Avrupa karayolu taşımacılığı CO2 ile mücadele politikasına etki eden yorumlara yol açmıştır [12]. Bu toleranslar WLTP'de daha kesin yöntem ve tanımlarla değiştirildi. Bu değişikliklerin çoğu muhtemelen CO2 emisyonlarında bir artışa neden olurken, bazıları için etki araç özelliklerine (örneğin vites değiştirme stratejisi) ve test sırasındaki sürüş davranışına (örneğin hız ve mesafenin düzeltilmesi) bağlı olacaktır.

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Test Aracı

Deneyleerde kullanılan araç, commonrail direkt enjeksiyonlu turboşarjlı 1.5 L dizel motora sahip 2014 model yılı Ford Fiesta'dır. Ayrıca, aracın EURO-5 emisyon standartlarına uyması için egzoz yapılandırmasında bir dizel partikül filtresi (DPF) ve dizel oksidasyon katalizörü (DOC) vardır. Araç ve motora ait teknik özellikler Tablo 5.1.'de listelenmiştir.

Tablo 4.1. Test Aracı ve Motoru Teknik Verileri [16]

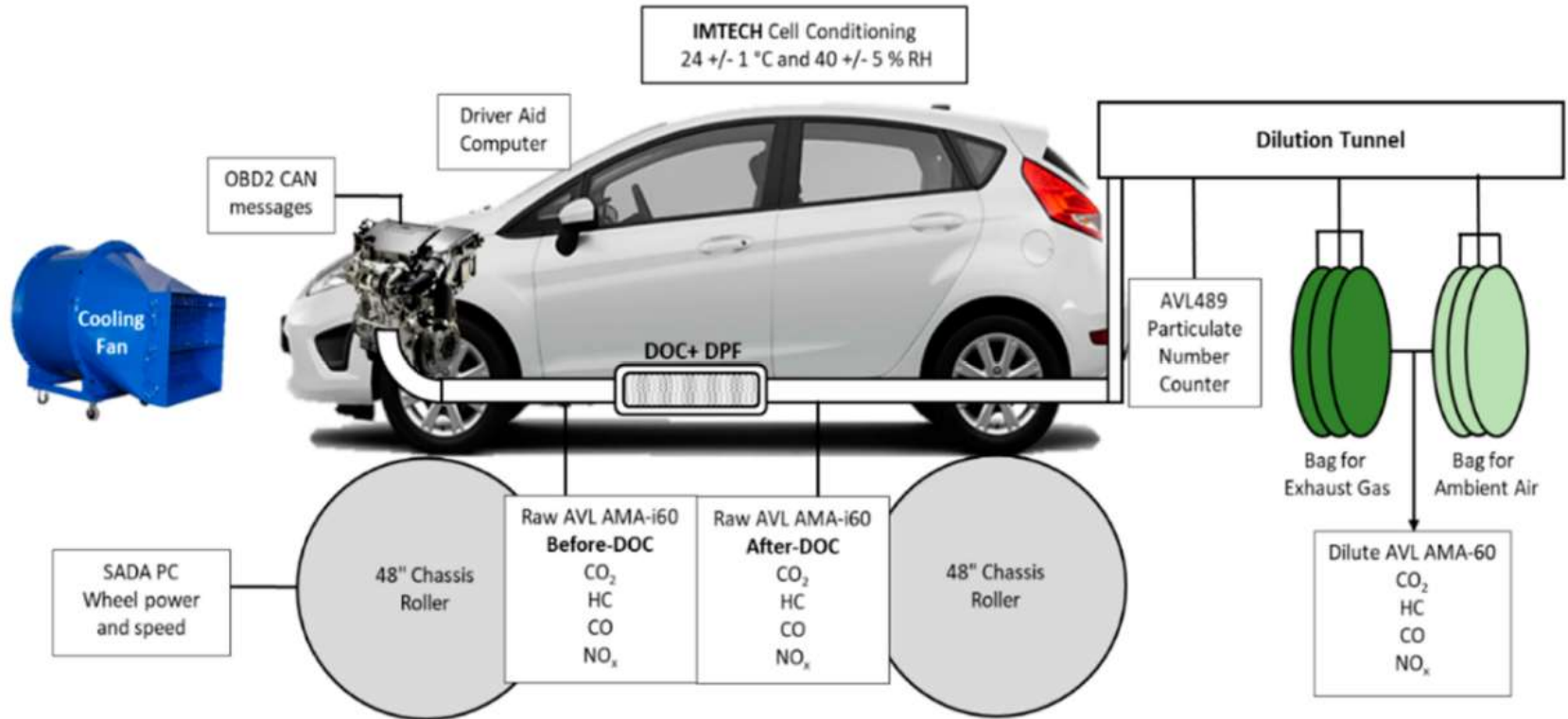
Test Aracı	
Silindir / Valfler	4 / 8
Boş ağırlığı	1169 kg
Deplasman	1498 cc
Çap / strok	73.5 / 88 mm
Maksimum güç(Hp) ve Tork	75hp @ 4000 rpm / 184 Nm @ 1700 rpm
DPF ve DOC	Evet
Soğutmalı egzoz gazı devri daimi(EGR)	Evet

4.2. Yöntem

Araç test öncesinde Avrupa Birliği ECE-R83 Regülasyonunda tanımlandığı gibi en az 8 saatlik bir süre şartlandırma odasında bekletilerek, motor yağ sıcaklığı, emme havasının sıcaklığı ve su sıcaklığının 25 derece ve %45 bağıl neme gelmesi için bekletilir. Sonrasında araç tamburlar üzerine çalıştırılmadan itilerek yerleştirilir. Test esnasında araç yoldan yeterli havayı alamadığı için önüne fan koyulur ve araç kaputu açık tutulur. Soğuk motora sahip araç ilk önce NEDC ve sonrasında WLTP sürüş döngülerine ait hız profillerine göre çalıştırılarak test çevrimleri gerçekleştirilir. Bu esnada emisyon gaz analizör cihazları ile araçtan salınan egzoz gazları (Hidrokarbon-HC, Karbonmonoksit-CO, Azotoksitler-NO_x, Karbondioksi-CO₂) analiz edilir. Analiz neticesinde emisyon değerleri kaydedilir. Ayrıca aracın tekerleğinden hızlara göre oluşan güç değerleri anlık olarak ölçülür ve kayıt edilir.

4.3. Test Düzenegi

Bu çalışmanın deneyleri TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü'nün iki dingilli şasi dinamometresi üzerinde yapılmıştır. Şasi dinamometresi, her iki aksındaki 220 kW AC elektrik motorlarını kullanarak test aracını yavaşlatabilir veya hızlandırabilir. Şasi dinamometresinin egzoz emisyon ölçüm sistemi bir seyreltme tüneli, sabit hacimli örnekleyici, AVL AMA-i60 seyreltik ve ham egzoz gazı analizörleri (AVL Gmbh, Graz, Avusturya), bir AVL partikül sayı sayacı cihazı, bir IMTECH test hücresi sıcaklığı ve nem kontrol cihazı (WeisstechGmbh, Hamburg, Almanya), SADA tekerlek güç ve hız ölçüm bilgisayarını (AVL Gmbh, Graz, Avusturya) ve bir sürücü yardım bilgisayarından oluşmaktadır. Şasi dinamometresinin ölçüm cihazları ile birlikte şeması Şekil 4.3.'de görülebilir.



Şekil 4.1. Laboratuvar Deneş Düzenęi Şematik [16]

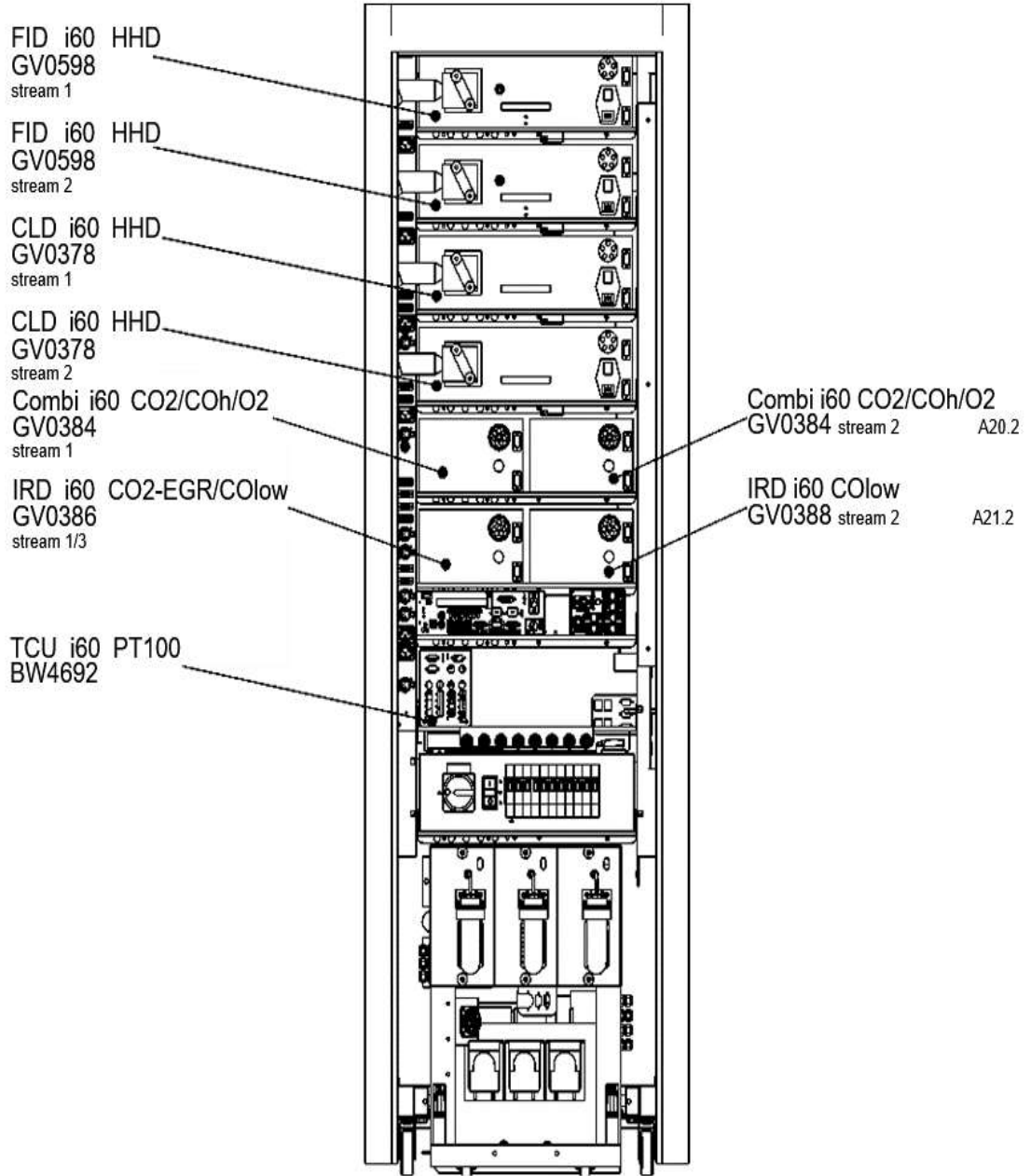
Sürücü yardım bilgisayarı, sürücünün geçici çevrimi izlemesi için gereklidir. Zaman ölçeğinde mevcut ve hedef araç hızını gösterir. Aracın gücü, kuvveti ve hızı şasi dinamometresi ile ölçülüyor. Ek olarak, UNECE R83'teki "benzetilmiş atalet ve dyno yükleme gereklilikleri" tablosundan seçilen aşağı kıyma parametreleri de şasi dinamometresi bilgisayarından uygulandı. Kasa dinamometresinin sıcaklığı ve nemi Imtech iklim sistemi ile kontrol edildi. NEDC'nin UNECE R101 düzenlemesine göre seyreltilmiş emisyon ölçümünün yanı sıra, NEDC sırasındaki emisyon davranışını belirleyebilmek için, DOC öncesi ve sonrası CO, HC, NOx ve CO2'nin ham emisyonları AVL AMA-i60 raw ile ölçülmüştür. Euro-5b emisyon düzenlemesiyle Eylül 2014'ten bu yana bir PN emisyon sınırı uygulandığı için, NEDC ve WLTC üzerindeki partikül sayı (PN) emisyonunu kaydetmek için AVL dizel partikül sayısı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Emisyon verilerine ek olarak, mevcut motor sensörü verilerini elde etmek için aracın OBD portu kullanılmıştır. OBD verileri, deneyler sırasında araç durumunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Orijinal Ekipman Üreticileri (OEM), 2000 ve sonraki model yıl araçlar için Avrupa OBD gereksinimlerini karşılamak için OBD portu üzerinden aynı kimliğe sahip CAN mesajları yayınlamaktadır. OBD portundan alınan motor sensörlerinin verileri aşağıdaki gibidir;

- Gaz pedalı pozisyonu (APP),
- Motor devri, manifold hava basıncı,
- Motor tarafından emilen hava akımı,
- Egzoz gazı devridaim (EGR) valf pozisyonu,
- Dizel partikül filtresinden önceki ve sonraki egzoz gazı sıcaklığı,
- Akü voltajı,
- Enjeksiyon yakıt basıncı,
- Toplam yakıt enjektörü
- Silindir ve motor soğutma suyu sıcaklığıdır.

4.4. Emisyon Ölçüm Cihazı

Egzoz gazlarını toplamak için yapılan deneylerde AVL AMA-i60 emisyon ölçüm tezgâhları kullanılmıştır. Şekil 5.2. AMA-i60 içindeki analizörleri göstermektedir. Her bir egzoz örneği için hem DOC hem de sonrası emisyonları ölçebilmek için iki ayrı analizör vardır.

FID, alev iyonlaşma detektörüdür ve HHD, yüksek konsantrasyonlu, ısıtmalı ve çift kanallı anlamına gelir. THC emisyonu FID ile analiz edilir. Organik karbon atomları bir hidrojen alevi içinde iyonize edilebilir. İyonize numune gazı, potansiyel farkla iki elektrot arasında küçük bir elektrik akımı akışı sağlar. Akım, karbon atomlarının sayısı ile orantılıdır. Ölçüm yöntemi göreceli bir ölçümdür. Ölçülen akım, bilinen bir konsantrasyona sahip bir referans gazın bilinen bir ölçülen akımı ile karşılaştırılır ve ölçülen bir değer hesaplanır. Ölçülen değer belirtildiğinde, temel referans değer belirtilmelidir. CUTTER FID i60 HHD, hidrokarbon bileşikleri THC ve CH₄'ün gazlardaki konsantrasyonunu belirlemek için kullanılan iki ölçüm kanallı bir analizördür. İki ölçüm kanalı aynı anda kullanılır, birinci kanal numune gazının THC içeriğini belirlemek için kullanılır ve ikincisi CH₄ oranını belirlemek için kullanılır. CH₄ oranı, katalitik bir dönüştürücüde kalan THC'den ayrılır.



Şekil 4.2. AVL AMA İ60 Ölçüm Cihazı Şematik

CLD, Kemilüminesans Dedektörüdür. CLD i60 analizörleri, soluma akışındaki NO_x konsantrasyonunu ölçer. Nitrojen oksit NO'nun ozon O₃ ile oksidasyonu yaklaşık 600 nm ila 3200 nm, radyasyon tepe noktası yaklaşık olarak 1200 nm. O₃'ün fazla olması durumunda NO konsantrasyonuyla orantılı olan bu kemilüminesans radyasyon, bir detektör tarafından toplanır ve bir elektrik sinyaline dönüştürülür. IRD, Dispersif Olmayan Kızılötesi Işınlardır. IRD i60 analizörleri, ekshalasyon

akışındaki CO ve CO₂ konsantrasyonunu ölçer. Yayılmayan IR ölçümleri için, kızılötesi radyasyon, bir örnek egzoz numunesinden geçirilir. Egzoz örneğinde bulunan moleküller, gaza göre tipik olan bir spektrumu emer. Sonuç, sözde soğurma spektrumu. IR ölçümü sırasında, absorbe edilen dalga boyu aralığı, gaz türünü karakterize ederken, absorpsiyon derecesi, ölçülen bileşenin konsantrasyonu için bir ölçüdür. Gazdan geçen kızılötesi radyasyon, ölçülecek numunenin bulunduğu bir sensörden geçer. Bu dedektör kızılötesi radyasyonu elektrik sinyaline dönüştürür. Konsantrasyonun belirlenmesi için, kızılötesi radyasyonun analiz edilecek gaz bileşenini içermeyen bir referans gazdan geçirilmesi gerekir, bu beklendiği gibi emme spektrumu noktasında herhangi bir absorpsiyon olmadığı anlamına gelir. Böylece, dedektör sıfırı düzenleyebilir. Daha sonra, numune numunesinin konsantrasyonu, ölçülen ve sıfır sinyal arasındaki varyanstan hesaplanır. Bir ölçüm hattı için üç IRD analizörü vardır. Bunlardan biri CO₂ ölçümü içindir. Düşük ve yüksek CO emisyon konsantrasyonu için, doğruluğu arttırmak için iki farklı analizör mevcuttur.

PMD ParamanyetikDedektörler. PMD analizörleri, egzoz akışındaki O₂ konsantrasyonunu ölçer. Cihazda kullanılan Combi i60, IRD ve PMD'nin bir kasada birleşimidir. Oksijen O₂ paramanyetiktir, bu, oksijenin manyetik bir alanda merkeze hareket ettiği anlamına gelir. Oksijenin bu özelliği konsantrasyonunu belirlemek için kullanılır. Manyetik alanın ortasındaki oksijenin, orijinal konumundan çıkan döner bir ölçüm gövdesine uyguladığı kuvvet ölçülür. Ölçüm gövdesine etki eden bir elektromanyetik alan pozisyon değişikliğini dengeler. Döner hareketi telafi etmek için gerekli olan akım, oksijen konsantrasyonu için bir ölçüdür.

Tablo 4.2. Analizörlerin kalibrasyon tüplerini göstermektedir. Kalibrasyon tüpleri analizörlerin ölçüm aralığına göre referans gaza sahiptir. Her sabah emisyon analizörleri tüplerle kalibre edilir, bu şekilde doğru emisyon sonuçları elde edilebilir.

Tablo 4.2.Emisyon Cihazının Ölçüm Aralığı ve Analizör Tipi AVL-AMAi60[17]

ExhaustSpecimen	THC	NOx	CO ₂	CO _{low}	CO _h	O ₂
MeasurementRange (ppm)	10- 20000	10- 10000	0.5- 20000	10- 6000	50- 20000	0.5- 25000

Tablo 4.2. (Devamı)

C3H8 - 10ppm	<input type="checkbox"/>			
C3H8 - 30ppm	<input type="checkbox"/>			
C3H8 - 1000ppm	<input type="checkbox"/>			
C3H8 - 5000ppm	<input type="checkbox"/>			
NO - 5ppm		<input type="checkbox"/>		
NO - 500ppm		<input type="checkbox"/>		
NO - 5000ppm		<input type="checkbox"/>		
CO2 - 3000ppm			<input type="checkbox"/>	
CO2 - 12000ppm			<input type="checkbox"/>	
CO2 - 20000ppm			<input type="checkbox"/>	
CO - 15ppm			<input type="checkbox"/>	
CO - 50ppm			<input type="checkbox"/>	
CO - 300ppm			<input type="checkbox"/>	
CO - 2000ppm			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO - % 1.5				<input type="checkbox"/>
O2 - 200ppm				<input type="checkbox"/>

Şekil 4.3.'de egzoz emisyon ölçümleri için hem motor hem de şasi dinamometresine hizmet eden TÜBİTAK MRC'deki emisyon odasının gerçek resmini göstermektedir. Resmin sağ tarafında ham ve seyreltik emisyon cihazları görülebilir. Büyük borular, NEDC sırasında egzoz emisyonunu sulandırmak için CVS tünelidir. Resmin solundaki cihaz motor dinamometresi için ham emisyon ölçüm cihazıdır.



Şekil 4.3. Motor ve Şasi Dinamometresi İçin Emisyon Ölçüm Cihazlarının AVL AMA-i60 Resmi

4.5. Hesaplamalar

Elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesi, farklı vakaların doğru bir şekilde karşılaştırılması için çok önemlidir. Denejlerinin sonuçları, UNECE-R83 düzenlemesine göre seyreltilmiş emisyon ölçüm sonuçlarından elde edilen AVL IGEM yazılımı aracılığıyla otomatik olarak hesaplandı. Seyreltik emisyon ölçümlerine ek olarak, seyreltik emisyon ölçümlerinin doğruluğunu değerlendirmek için ham emisyon verilerinden elde edilen sonuçları hesaplamak için IGEM yazılımı kullanılmıştır. WLTC deneylerinin emisyon verileri UNECE Yönetmeliği 49'a (ağır araç kirletici emisyonu) göre değerlendirildi. UNECE-R49, kirleticilerin kütlesini ham emisyon ölçümlerinden hesaplamak için gerekli formülasyonu tanımlar, bu nedenle, her bir egzoz için farklı bir sabit olan ham emisyon ölçümlerinden kütle emisyonlarını hesaplar, UNECE-R49 denklemi kullanılmıştır. Moleküler

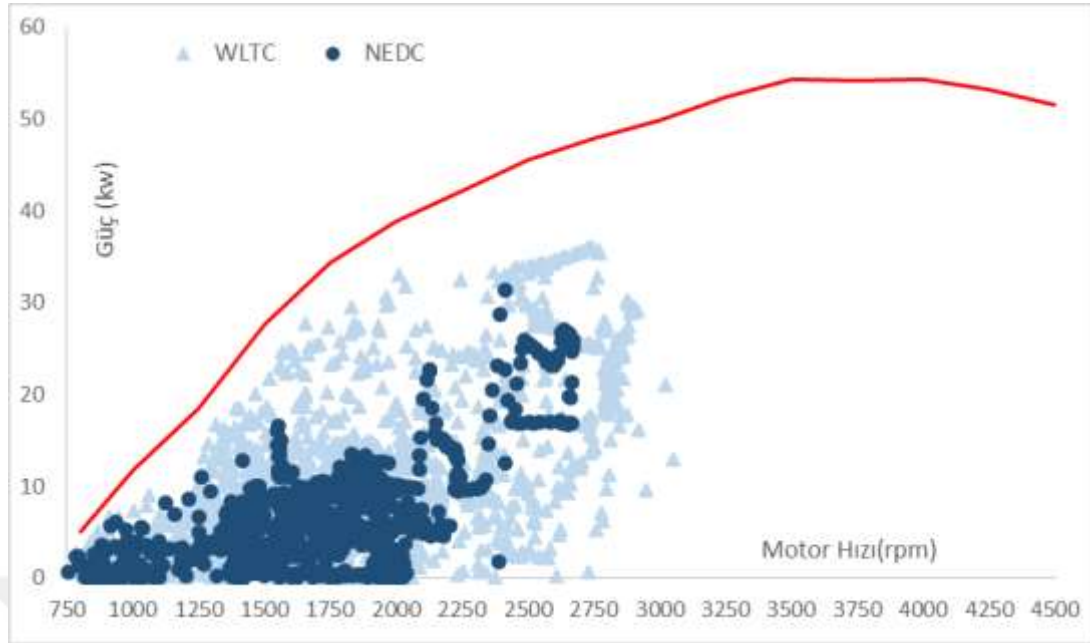
kütlesinden hesaplanan gaz, c , egzoz gazı içindeki bileşenin anlık konsantrasyonudur (ppm), q , anlık egzoz kütle akışıdır (kg / s), f , veri örnekleme hızıdır (Hz) ve n , ölçüm sayısı. Ek olarak, hem torba hem de ham emisyon ölçümleri kullanılarak NEDC ve WLTC sonuçlarının istatistiksel analizi yapıldı.



BÖLÜM 5. TEST SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Avrupa Komisyonu, Ocak 2018'den itibaren TA prosedürü için NEDC yerine WLTP'yi takip etmektedir. Avrupa Komisyonu TA prosedürügeregince, daha gerçekçi sürüş davranışını simüle etmek için hem süre hem de mesafe bakımından daha uzun bir döngü geliştirdi [15]. WLTC'nin seyahat süresi ve mesafesi sırasıyla 1800 s ve 23,27 km'dir, NEDC 11.03 km mesafeyle 1180 s'dir.

WLTC ve NEDC testi sırasında, motor yük profilini analiz etmek için motor hızına göre motor yükü verileri Şekil 5.1.'de gösterildiği gibidir. Ayrıca, motorun tam yük (FL) gücü aracın katalogundan alınmıştır. Motorun üst güç sınırını belirtmek için şasi dinamometresindeki açık hızlanma gaz kelebeği konumu, Şekil 5.2.'ye eklendi. Her devrin hız profilinden de görüldüğü gibi motor WLTC'de NEDC'ye kıyasla daha yüksek hız ve güç koşullarında çalışmaktadır. Deney sırasında WLTC'den NEDC'e kıyasla daha yüksek CO2 emisyonu elde edildi. Bu nedenle, WLTC'nin NEDC'ye kıyasla daha yüksek yük altında çalışacağı ve daha yüksek CO2 emisyonuna neden olduğu belirlenmiştir.



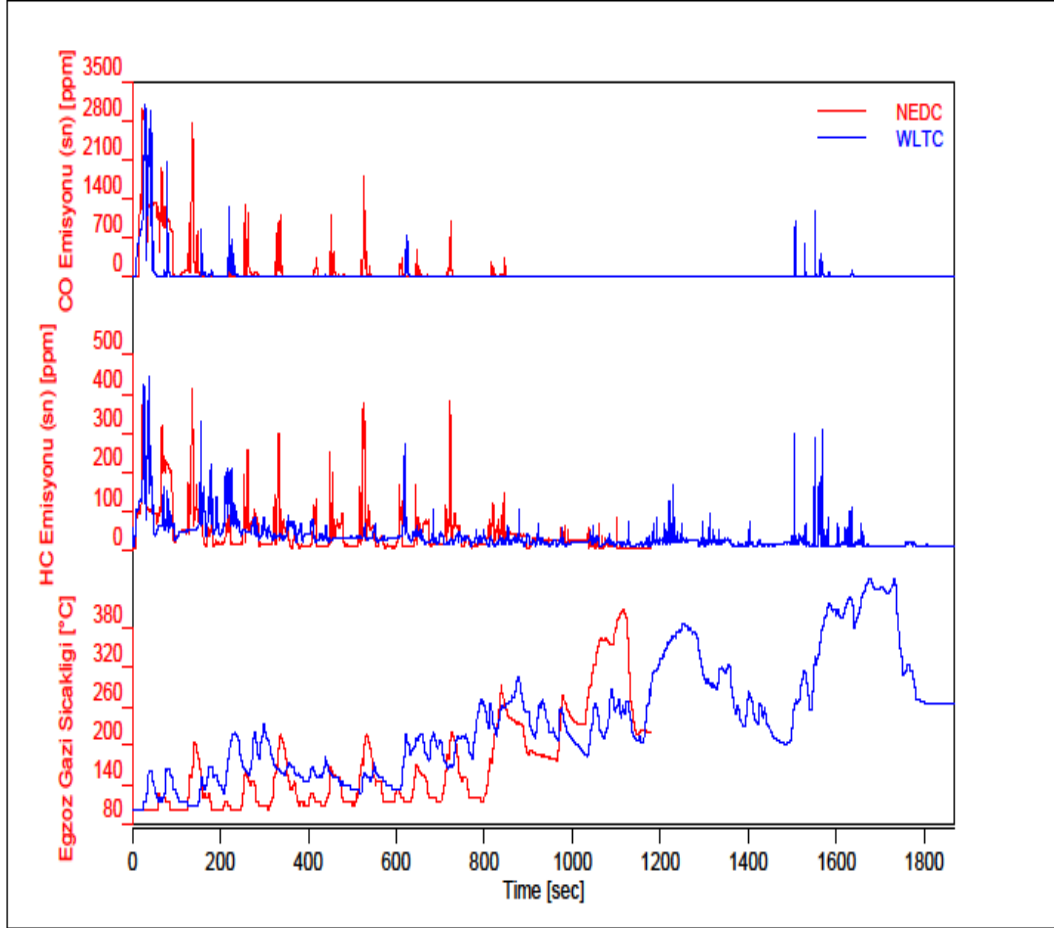
Şekil 5.1. Motor Yük Profili [16]

5.1. Toplam CO, HC ve NO_x Emisyonlarının Karşılaştırılması

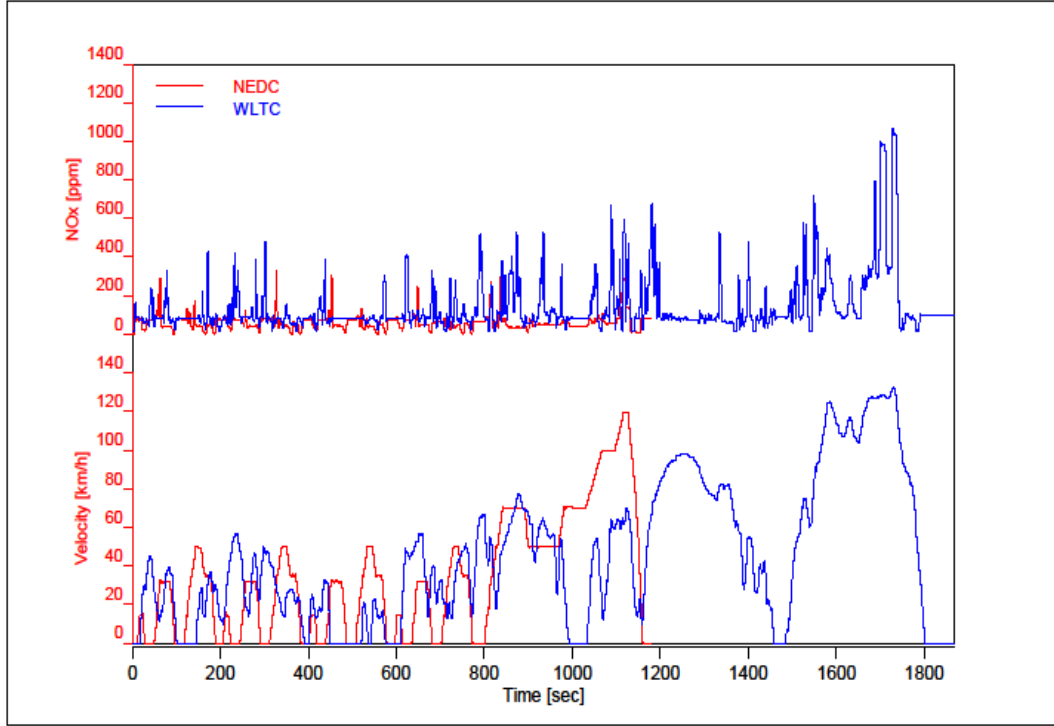
NEDC ve WLTC'nin egzoz emisyon değerleri farklı hız ve yük profili nedeniyle farklıdır. Bu bölümde, WLTC ve NEDC'nin CO, HC ve NO_x emisyonları, her döngünün emisyon hassasiyetini anlamak için karşılaştırılmıştır. DOC'nin CO ve HC dönüşüm verimliliği, DOC'nin çalışma prensibi nedeniyle doğrudan egzoz sıcaklığıyla ilgilidir. Egzozdaki HC ve CO, DOC girişindeki sıcaklık, sözde ışık söndürme sıcaklığı olan 200 ° C'ye ulaştığında H₂O ve CO₂'ye dönüştürülebilir. WLTC'nin başlangıcında, NEDC'ye kıyasla daha yüksek hız profili nedeniyle, egzoz sıcaklığı artışı WLTC'de daha önce başlamıştır. Ayrıca, WLTC'deki (NEDC'ye kıyasla) nispeten daha kısa rölanti süresi nedeniyle, Şekil 5.2.'de gösterildiği gibi DOC üzerinde daha iyi CO ve HC emisyon dönüşümüyle sonuçlanmıştır.

Şekil 5.3.'de görülebileceği gibi araçların CO ve HC yönetmelik sınırını NEDC'ye kıyasla WLTC altında daha kolay karşılayabileceği görülmektedir. CO ve HC emisyonlarının aksine, hem NO_x emisyonları, Şekil 5.3.'de görülebileceği gibi, WLTC'de NEDC'den daha yüksektir, Şekil 5.3.'de görüldüğü gibi daha geçici ve daha

yüksek hızda çalışma profili nedeniyle, NO_x emisyonları WLTC sırasında daha yüksektir. Özellikle araç hızının 130 km / s'yi aştığı WLTC'nin son 200 saniyesinde, NO_x emisyonları 900 ppm'e ulaşırken, NEDC sırasında maksimum NO_x emisyonları Şekil 5.2'de gösterildiği gibi yaklaşık 300 ppm'dir.

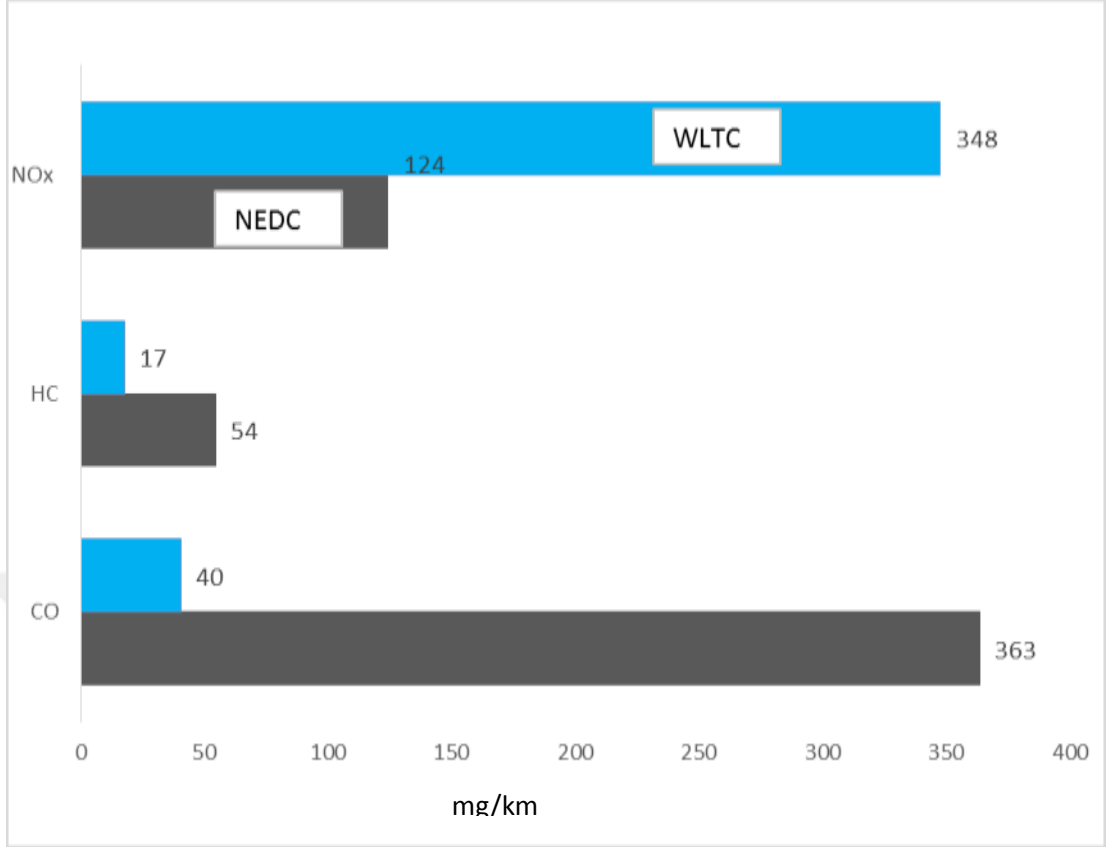


Şekil 5.2. DOC ve Egzoz Gazı Sıcaklığındaki NO_x, CO ve HC Emisyonlarının Karşılaştırılması.



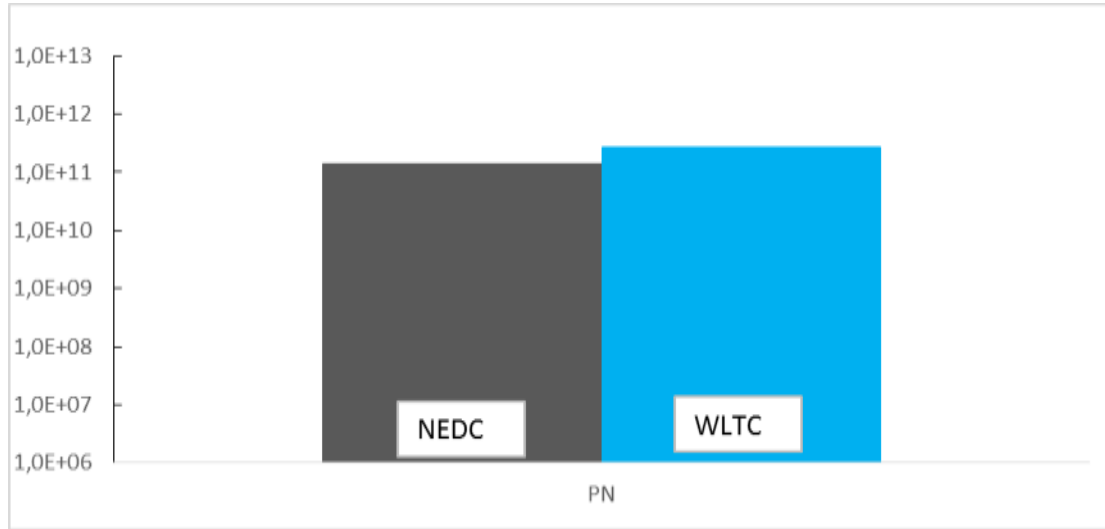
Şekil 5.2. (Devamı)

Özet olarak, deneyler, NEDC ile karşılaştırıldığında WLTC altında daha düşük CO ve HC emisyonlarının elde edilebildiğini ve motor devri ve yükünden dolayı net NOx emisyon artışı olduğunu göstermektedir. NEDC'ye kıyasla WLTC sırasında daha yüksek bir silindir içi sıcaklığa oluşmaktadır.



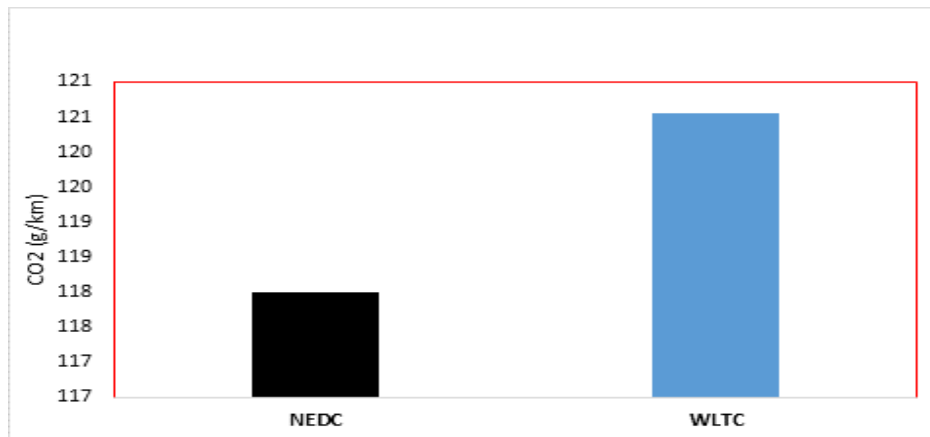
Şekil 5.3.NEDC ve WLTC'nin CO, HC ve NOx Ortalama Emisyonları (mg/km)

Gaz egzoz emisyonlarına (CO, HC ve NOx) ek olarak, AB düzenlemeleri partikül kütlesi (PM) ve partikül sayısı (PN) emisyonlarını insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle sınırlandırmaktadır. Tablo 6.1.'de kurum emisyonlarının ana kaynağı dizel yakıttaki karbon atomlarıdır. PN emisyonları, ölçülen değerlerin büyüklüğü nedeniyle Şekil 5.4.'de logaritmik ölçekte çizildi. Ayrıca, PN emisyonlarının azalma oranı logaritmik değerler üzerinden hesaplandı.



Şekil 5.4. NEDC ve WLTP PN Değerleri

WLTC ve NEDC altındaki motor hızına göre motor yükü verileri Şekil 5.1. motor yük profilini gösterildiği gibi analiz etmek için çizildi. WLTC'de motor, her devrin hız profiliyle tutarlı olan NEDC'ye kıyasla daha yüksek hız ve güç koşullarında çalışır. Dahası, WLTC (127,6) üzerinden NEDC'den (121) daha yüksek g / km CO₂ salınımı elde edilmiştir. Bu nedenle, WLTC'nin NEDC'ye kıyasla daha yüksek yük altında çalışacağı ve daha yüksek CO₂ emisyonuna neden olduğu Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi belirlenir.



Şekil 5.5. NEDC ve WLTC Deneylerinin CO₂ Emisyonları

5.2. Sürüş Çevriminin Kocaeli İlindeki Emisyonlara Etkisi

Önceden NEDC'ye göre emisyon testleri yapılıyordu. Şimdi ise testler WLTP'ye göre yapılmaktadır. Testlerdende ve literatürden görüldüğü üzere aslında araçlar gerçek yolda daha fazla yakıt tüketiyormuş.

Bunu kendi araçlarımızda da hissediyorduk vede araç alırken katalogunda taahhüt eden değerlere sürüş sırasında yakalayamıyorduk.

Firmalar gerçeğe göre yaklaşık %3-5 az CO2 emisyonu değeri beyan ediyordu. Şimdi yeni çevrim ile daha gerçekçi ölçüm yapıldığı için beyan ettikleri CO2 değeri daha güvenilir ve haliyle %5 daha azdır. Bu sebepten Kocaeli'de toplam araç sayısı 392.124 olduğu biliniyor. Bu araçların ortalama aylık gittikleri mesafe 250km alınırsa. Km başına CO2 değeri ortalama 120 kabul edilirse. $392.124 \times 250 \times 120 \times 0.05 = 588$ milyon 186 bin gr CO2 daha az tüketilecek. Bu çevre kirliliği ve dünya çapında ısınmayı daha az etkileyecek.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bu çalışma, 1.5 L dizel motorlu bir Euro-5 yetenekli binek otomobili NEDC ve WLTC standartları altında test edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı; WLTP ve NEDC test yöntemleri ile testi yapılan aracın CO, HC ve NO_x değerlerinin karşılaştırılması ve yakıt tüketim değerlerinin gerçek hayata yakın olan çevrimin belirlenmesidir.

Yapılan deneylere ve ilgili analiz ve değerlendirmelere dayanarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarıldı:

Tüm deneyler sırasında çevresel koşullar ve araç parametreleri sabit tutularak, egzoz emisyonlarında, performans ve yanma parametrelerinde farklılık oluştuğu, bunun temel nedeninin WLTC ve NEDC sürüş çevrimlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

İki test metodu karşılaştırıldığında WLTC altında daha düşük CO ve HC emisyonlarının elde edilebildiğini ve motor devri ve yükünden dolayı net NO_x emisyon artışı olduğunu göstermektedir. NEDC'ye kıyasla WLTC sırasında daha yüksek bir silindir içi sıcaklığa oluşmaktadır.

Egzoz emisyonları karşılaştırıldığında NEDC çevriminde CO 363 mg/km, HC 54 mg/km, NO_x 124 mg/km, PN 1,0E+10 ölçülürken, WLTC çevriminde ise CO 40 mg/km, HC 17 mg/km, NO_x 348 mg/km, PN 1,0E+11 olarak ölçülmüştür. WLTC altında daha yüksek hız profili ve egzoz sıcaklığından dolayı DOC(katalizör) devreye girerek CO, HC ve PN emisyonlarında daha yüksek bir düşüşe neden oldu. NO_x emisyon değeri yüksek sıcaklıkta azot ve oksijenin kimyasal olarak birleşmesi sonucu WLTP' de daha yüksek çıkmıştır.

Emisyon değerleri WLTC de daha doğru bir Şekilde tespit edilmiştir. WLTP evrim standartlarından kaynaklanan hız değerinin 130 km/h olması, ortalama hızın 44 km/h olması, ani hızlanmalar ve tez boyunca çalıŐtıęımız tüm etkenlerden dolayı araç yakıt tüketim değerleri de gerçek hayat koşullarına daha yakındır.

Tüm parametreler düşünöldüğünde WLTC'nin kullanılması NEDC kıyasla daha gerçekçidir. WLTC sürüş çevrimini geliŐtirerek ve bazı farklı etkileri olan parametreler ekleyerek daha da iyi sonuçlar elde edilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] <https://climate-protection.org/wp-content/uploads/2018/10/Survey-on-Global-Activities-to-Phase-Out-ICE-Vehicles-FINAL-Oct-3-2018.pdf> Erişim Tarihi: 29.04.2019.
- [2] Mock, A.P.;Kühlwein, J.; Tietge, U.; Franco, V.; Bandivadekar, A.; German, J.The WLTP:How a New Test Procedure for Cars Will Affect Fuel Consumption Values in the EU; ICCT: Berlin, Germany, 2014.
- [3] Pavlovic J, Marotta A, Ciuffo B. CO2 emissions and energy demands of vehicles tested under the NEDC and the new WLTP type approval test procedures. Appl Energy 2016;177:661–70.
- [4] Weiss M, Bonnel P, Hummel R, Provenza A, Manfredi U. On-road emissions of light-duty vehicles in Europe. EnvironSciTechnol 2011;45,8575–81.
- [5] Kasab, J. (30 January 2013). Analysis of green house gas emission reduction potential of light duty vehicle technologies in the European Union for 2020-2025. Washington DC: Supplemental Project report of Ricardo Inc. On behalf of the International Council on Clean Transportation.
- [6] ADAC, Munich, Germany: Eco Test chassis dynamometer measurements of passengercars. Charged data provided to ICCT on 11 July 2014.
- [7] Ciuffo B, Marotta A, Tutuianu M, Anagnostopoulos K, Fontaras G, PavlovicJ, et al. The development of the World-Wide Harmonized Test Procedure for Light Duty Vehicles (WLTP) and the path way for it simplementation into the EU Legislation. Washington, DC: Transportation Research Board; 2015.
- [8] Weiss M, Bonnel P, Hummel R, Provenza A, Manfredi U. On-road emissions of light-duty vehicles in Europe. Environ Sci Technol 2011;45:8575–81.
- [9] Marotta, A.,Ciuffo, B., Pavlovic, J., Ciuffo, B., Serra, S., Anagnostopoulos, K.,Arcidiacono, V., Fontaras, G., Praksova, R., Tsiakmakis, S., Giechaskiel, B., 2016. An insight into the procedural differences between NEDC.

- [10] WLTP and their possible impact on CO₂ emissions from the type-approval of light duty vehicles. Presented at the TRB Annual Meeting.
- [11] Bielaczyc, P., Woodburn, J., and Szczotka, A., "A Comparison of Carbon Dioxide Exhaust Emissions and Fuel Consumption for Vehicles Tested over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Test Cycles," SAE Technical Paper 2015-01-1065, 2015, doi:10.4271/2015-01-1065.
- [12] www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php, Erişim Tarihi: 29.04.2019.
- [13] Ge, Q., Ciuffo, B., Menendez, M. Combining screening and meta model-based methods: a sequential approach to the sensitivity analysis of high-dimensional and computationally expensive models. Forth coming on Reliability, Engineering and System Safety, 2014.
- [14] Marotta, A., J. Pavlovic, B. Ciuffo, S. Serra and G. Fontaras (2015). "Gaseous Emissions from Light-Duty Vehicles: Moving from NEDC to the New WLTP Test Procedure." Environmental Science and Technology 49(14): 8315–8322.
- [15] European Commission. REGULATION (EC) No 443/2009 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 setting emission performance standards for new passenger cars as part of the Community's integrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles. Off J Eur Union 2009; L 140:1–15.
- [16] Fontaras G, Dilara P. The evolution of European passenger car characteristics 2000–2010 and its effects on real-world CO₂ emissions and CO₂ reduction policy. Energy Policy 2012; 49:719–30.
- [17] Kaya, T.; Kutlar, O.A.; Taskiran, Ö.O. Investigation on the Emission, Performance and Combustion.
- [18] Datta, A.; Mandal, B.K. Engine performance, combustion and emission characteristics of a compression ignition engine operating on different biodiesel-alcohol blends. Energy 2017.
- [19] Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete Erişim Tarihi: 21.10.2017.
- [20] https://www.drdatastats.com/vh20190104_Motorlutasitlar.html Erişim Tarihi: 15.04.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Emrah Gögebakan 14.06.1987'de Kocaeli'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'de tamamladı. 2004 yılında Çelik Halat Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Fizik bölümünden 2009 yılında, 2006 yılında başladığı Makine Mühendisliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. 2011 yılında Yıldız Sunta MDF'de Makine Mühendisi olarak farklı pozisyonlarda görevler aldı. 2017 yılında TÜBİTAK BİLGEM'de işe başladı ve halen uzman olarak görevini sürdürmektedir.